

115/1-71

СООБЩЕНИЯ
ОБЪЕДИНЕННОГО
ИНСТИТУТА
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ

Дубна

P13 - 5402

C 344.1a + C 344.3г

p. 982



В.Д. Рябцов, Е.А. Силаев

ЛАБОРАТОРИЯ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ

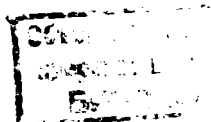
СПЕКТРОМЕТРИЧЕСКИЙ ТРАКТ
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ
ИОНИЗАЦИОННЫХ КАМЕР
НА КОНДЕНСАТАХ АРГОНА И КСЕНОНА

1970

P13 - 5402

В.Д. Рябцов, Е.А. Силаев

СПЕКТРОМЕТРИЧЕСКИЙ ТРАКТ
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ
ИОНИЗАЦИОННЫХ КАМЕР
НА КОНДЕНСАТАХ АРГОНА И КСЕНОНА



В работах^{1,2/} приведены результаты исследования спектрометрических свойств детекторов на основе конденсатов аргона и ксенона. Там же описаны конструкции двух экспериментальных ионизационных камер: 1) с жидким и твердым аргоном и 2) с жидким ксеноном. Эти камеры использовались в основном как детекторы " $\frac{dE}{dx}$ " на пучке π^- -мезонов. При этом регистрировались амплитудные спектры сигналов детекторов. Сравнение полученных спектров с расчётными позволяло оценить погрешности, вносимые детектором. Погрешности спектрометрической аппаратуры должны были быть при этом пренебрежимо малы.

Блок-схема спектрометрического тракта, использованного при работе с камерами на конденсатах аргона и ксенона, показана на рис. 1.

Сигнал с анода камеры К подается на камерный предусилитель ПУ, назначение которого заключается в получении сигнала, пропорционального заряду, наведенному на аноде, с амплитудой, достаточной для передачи по длинному кабелю без ухудшения отношения "сигнал-шум". Далее сигнал поступает на вход линейного спектрометрического усилителя ЛУ, где одновременно с усилением проводится фильтрация сигнала. Затем он проходит через пороговое устройство (экспандер) Э и поступает в анализатор АИ для амплитудного анализа.

Сквозная амплитудная калибровка тракта проводилась через дозирующую емкость предусилителя от генератора точной амплитуды ГК.

Запуск анализатора осуществлялся от схемы совпадений, на вход которой поступали сигналы от системы сцинтилляционных счётчиков, позволяющих "выделить" любой участок чувствительного объема ионизационной камеры.

Результаты анализа выводились на цифропечать ЦП. Наблюдение и фотографирование формы сигнала проводилось с помощью осциллографа Осц.

Питание ионизационных камер подавалось на катод от регулируемого высоковольтного источника ИП 0+30 кВ через развязывающий фильтр Ф.

При разработке сигнального тракта были учтены следующие свойства конденсаторов аргона и ксенона как детектирующих средств:

подвижности отрицательных и положительных носителей в слабых полях μ_0^- , μ_0^+ ;

скорость дрейфа отрицательных носителей в сильных полях V_s ;

средняя энергия образования пары ионов ω ;

удельная проводимость γ ;

диэлектрическая проницаемость ϵ . .

Указанные свойства исследованы в работах^{/3,4,5/}, на основании которых можно сделать следующие выводы:

отрицательными носителями в жидких и твердых аргоны и ксеноне являются электроны; подвижность их в слабых полях высока^{/3/};

подвижность положительных носителей чрезвычайно низка или практически отсутствует (например, в твердом аргоны)^{/3,4/};

скорость дрейфа электронов в сильных полях слабо зависит от напряженности^{/3/};

средняя энергия образования пары ионов может быть принята равной величине энергии для соответствующего газа^{/5/};

удельная проводимость пренебрежимо мала, т.к. указанные среды являются диэлектриками^{/3/}.

Малоподвижность положительных носителей приводит к зависимости амплитуды сигнала от положения трека относительно электродов камеры, т.к. приходится выделять только "быструю", электронную, компоненту наведенного заряда. Кроме того, при интенсивном облучении сильноионизирующими частицами возможна поляризация среды, что было обнаружено и исследовано^{/1/}.

Для формирования частотной полосы спектрометрического тракта необходимо знать время сбора электронов в камерах. Оно зависит от межэлектродного расстояния, координат трека и напряженности поля. В работе^{/3/} найдено, что эффективный сбор электронов в жидком аргоны достигался при полях, превышающих $5 \text{ кВ} \cdot \text{см}^{-1}$, т.е. в области сильного поля^{/3/}, где скорость дрейфа слабо зависит от напряженности. Поэтому оценку времени сбора электронов целесообразно провести только для сильного поля. С учетом этого максимальное время сбора электронов (для предельного межэлектродного расстояния $d_{\text{max}} = 1 \text{ см}$) составит^{/3/}:

для жидкого аргоны:

$$T_0 = \frac{d_{\text{max}}}{V_s} = \frac{1}{7,9 \cdot 10^5} = 1,3 \cdot 10^{-6} \text{ сек};$$

для твердого аргоны:

$$T_0 = \frac{1}{13,8 \cdot 10^5} = 0,6 \cdot 10^{-6} \text{ сек}.$$

для жидкого ксеноны:

$$T_0 = \frac{1}{2,86 \cdot 10^5} = 3,5 \cdot 10^{-6};$$

для твердого ксеноны:

$$T_0 = \frac{1}{5,5 \cdot 10^5} = 1,8 \cdot 10^{-6} \text{ сек}.$$

Эксперимент подтвердил эти расчёты.

В качестве примера на рис. 2 показана фотография импульсов, полученных от камеры с твердым аргоны от частиц, прошедших вблизи катода; здесь усилитель не ограничивает длительности переднего фронта ($\tau_{\text{инт}} = 0,1 \text{ мксек}$) и она соответствует времени сбора электронов.

Формирование частотной характеристики в нашем случае осуществляется простым RC интегро-дифференцирующим фильтром при равных константах интегрирования и дифференцирования ($\tau_{\text{инт}} = \tau_{\text{диф}} = \tau$).

При выборе констант фильтра соблюдается условие^{/6/}

$$\tau \geq T_0.$$

Усиление этого неравенства приводит к расширению импульса и увеличивает опасность наложений, а сведение его к равенству вызывает некоторую зависимость амплитуды (в пределах 4%) от времени сбора электронов.

Таким образом, полученные выше значения T_c определяют минимальный диапазон констант фильтра.

Амплитуда сигнала ионизационной камеры зависит от энергии, "оставленной" частицей в рабочем объеме камеры ϵ_1 , средней энергии образования пары ионов ω , положения трека, эффективности сбора электронов. Минимальная амплитуда сигнала, необходимая для оценки требуемой чувствительности тракта, наблюдается в аргоновой камере при анализе сигнала, вызываемого частицами, пролетающими вблизи ($l_{\min} = 0,2$ см) анода при максимальном межэлектродном расстоянии ($d_{\max} = 1$ см). Минимальная величина наведенного заряда в этом случае будет:

$$Q_{\min} = \frac{\bar{\epsilon}_1 \cdot l_{\min} \cdot e}{\omega \cdot d_{\max}}$$

где

$$\bar{\epsilon}_1 = 5,4 \text{ МэВ}^{1/2},$$

$$\omega = 25,4 \text{ эВ}^{5/2},$$

$$Q_{\min} = \frac{5,4 \cdot 10^6 \cdot 0,2 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19}}{25,4 \cdot 1} = 7 \cdot 10^{-15} \text{ к.}$$

Этот сигнал должен быть зарегистрирован по крайней мере в средних каналах анализатора. Для транзисторных анализаторов это соответствует амплитуде на их входе около 5 в. Уровень сигнала, передаваемого по длинному кабелю, должен быть порядка 100 мв, чтобы не ухудшалось отношение сигнал/шум. Поэтому максимальный коэффициент передачи линейного усилителя с учётом ослабления в формирующих цепях должен быть равен:

$$K_{\text{лу}} = \frac{5}{100 \cdot 10^{-3}} = 50.$$

Остальное усиление обеспечивает камерный предусилитель, коэффициент передачи которого должен быть около:

$$K_{\text{пу}} = \frac{100 \cdot 10^{-3}}{6 \cdot 10^{-15}} \approx 16 \cdot 10^{12} \text{ в} \cdot \text{к}^{-1}$$

(на нагрузке 50 ом).

Энергетическое разрешение тракта определяется прежде всего шумовыми свойствами предусилителя.

Принципиальная схема предусилителя (см. рис. 3) включает в себя две транзисторные усилительные секции. Первая секция (транзисторы T_1, T_2, T_3) собрана по обычной зарядочувствительной схеме с токовым выходом. Достоинство этой схемы - слабая зависимость коэффициента передачи от входной емкости, что важно для камер с переменным межэлектродным расстоянием.

Шумы предусилителя обусловлены прежде всего шумами входного усилительного элемента. Поэтому на входе применен мал шумящий полевой транзистор с р-н-переходом и каналом "н"-типа. Транзистор имеет крутизну $S = 4 \text{ ма} \cdot \text{в}^{-1}$ и ток затвора $I_t = 3 \cdot 10^{-12} \text{ а}$.

Основными источниками шума будут являться:

1) тепловой шум канала; 2) дробовой шум тока затвора; 3) тепловой шум сопротивления смещения затвора. Оценим эти составляющие^{17/}.

Первая компонента шума эквивалентна действию шумящего сопротивления R_s , включенного последовательно со входом:

$$R_s \approx \frac{0,7}{S} = \frac{0,7}{4 \cdot 10^{-3}} = 175 \text{ ом.}$$

Вторая и третья компоненты эквивалентны действию шумящей проводимости, включенной параллельно входу:

$$G_p = \frac{q I_t}{2kT} + \frac{1}{R_6} = \frac{1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 3 \cdot 10^{-12}}{2 \cdot 4 \cdot 10^{-21}} + 1 \cdot 10^{-9} \approx 10^{-9} \text{ сим;}$$

т.е. этот шум определяется в основном сопротивлением смещения затвора.

Существует оптимальная величина временных констант фильтра $\tau_{\text{опт}}$, при которой отношение "сигнал/шум" максимально (это соответствует равному вкладу последовательных и параллельных источников шума):

$$\tau_{\text{опт.}} = C_{\Sigma \text{вх}} \cdot \sqrt{\frac{R_s}{G_p}}$$

где $C_{\Sigma \text{вх}}$ - суммарная емкость на входе; максимальная величина ее для нашего случая составляет 60 пф, тогда

$$\tau_{\text{опт.}} = 60 \cdot 10^{-12} \sqrt{\frac{175}{10^{-9}}} = 25,1 \cdot 10^{-6} \text{ сек.}$$

К сожалению, в нашем случае работать с $\tau = \tau_{\text{опт}}$ из-за большого влияния наложений импульсов трудно. При работе с $\tau < \tau_{\text{опт}}$ будет преобладать тепловой шум проводящего канала полевого транзистора, и разрешение ухудшится. Возможным выходом в этих условиях является применение входного транзистора с большей крутизной или параллельное соединение нескольких транзисторов. Однако сравнительно большая величина минимального сигнала позволяет допустить некоторое повышение шума и не прибегать к указанным выше мерам.

Вторая секция предусилителя (транзисторы T_4, T_5) является усилителем тока, охваченным общей параллельной отрицательной обратной связью по току. Благодаря глубоким обратным связям, коэффициент передачи предусилителя мало отличается от предельного значения, определяемого параметрами цепей обратных связей:

$$K_{\text{пу}} = \frac{R_{13}}{C_4 \cdot R_4 \cdot R_{12}} = \frac{10^4}{2 \cdot 10^{-12} \cdot 330 \cdot 47} = 3,2 \cdot 10^{11} \text{ (а.к}^{-1}\text{)}.$$

В заключение приводим основные технические характеристики тракта.

1. Коэффициент передачи линейного усилителя (при $\tau_{\text{инт.}} = \tau_{\text{диф}}$) - регулируемый 0+50.
2. Диапазон констант формирования, мксек - 0,1-0,2-0,5-1,0-2,0-5,0.

3. Входное сопротивление линейного усилителя, ом - 50.
4. Порог экспандера, в - регулируемый 0+10.
5. Коэффициент передачи предусилителя, а.к⁻¹ - $3,2 \cdot 10^{11}$.
6. Энергетическое разрешение (при $C_{\Sigma \text{вх макс}} = 60 \text{ пф, } \frac{1}{2} \Delta^{\text{АГ}}$, $\tau_{\text{инт.}} = \tau_{\text{диф.}} = 1 \text{ мксек}$), кэв - 68.
7. Сквозная нелинейность тракта (при изменении сигнала на входе анализатора в пределах 0,5+10 в), % - $\pm 0,5$.
8. Рабочая полярность импульсов всех блоков тракта - отрицательная.

Литература

1. Л.Б. Голованов, В.Д. Рябцов, Е.А. Силаев, А.П. Цвинев. Сообщение ОИЯИ, P13-5404, Дубна, 1970.
2. Ю.В. Куликов, Н.И. Малашкевич, В.Д. Рябцов, Е.А. Силаев. Сообщение ОИЯИ, P13-5403, Дубна, 1970.
3. L.S. Miller, S. Howe, W.E. Spear. Phys. Rev., 166, 871 (1968).
4. D.W. Swan. Proc. of the Phys. Soc., 76, No487, 36 (1960).
5. J.H. Marshall. Rev. Sci. Instr., 25, 232 (1954).
6. А.Б. Джиллесси. Сигнал, шум и разрешающая способность усилителей, Атомиздат, М., 1964.
7. Ю.К. Акимов, А.И. Калинин, В.Ф. Кушнирук, Х. Юнгклауссен. Полупроводниковые детекторы ядерных частиц и их применение, Атомиздат, М., 1967.

Рукопись поступила в издательский отдел

14 октября 1970 года.

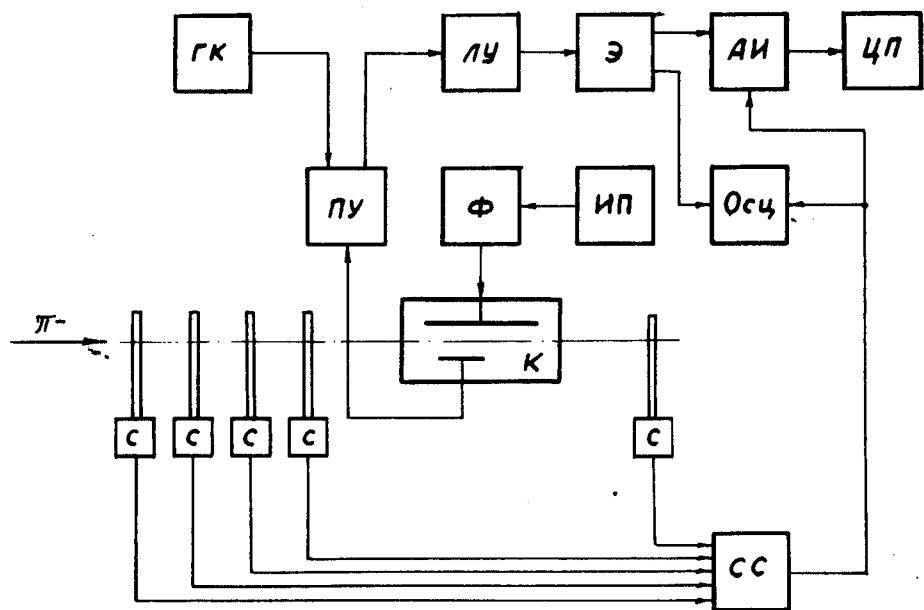


Рис. 1. Блок-схема спектрометрического тракта.

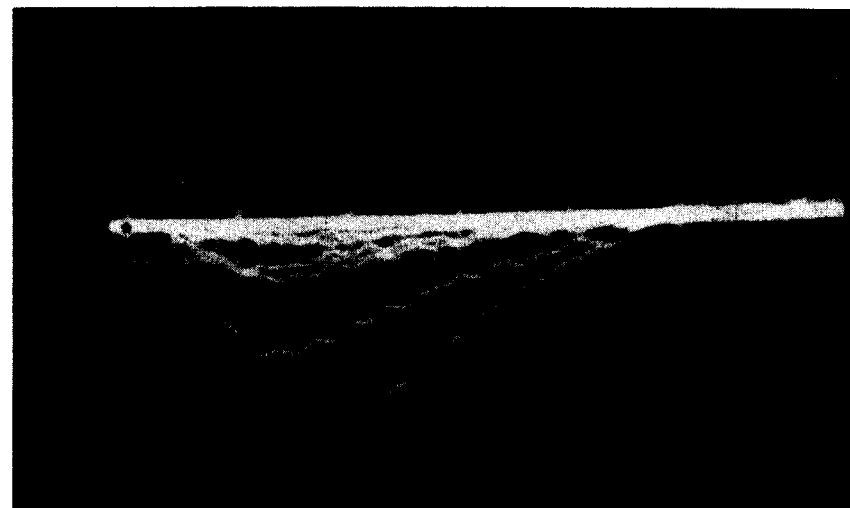


Рис. 2. Импульсы ионизационной камеры на твердом аргоне; $\tau_{\text{инт.}} = 0,1$ мксек;
 $\tau_{\text{диф.}} = 1,0$ мксек; масштаб горизонтальной развертки 0,5 мксек/дел.

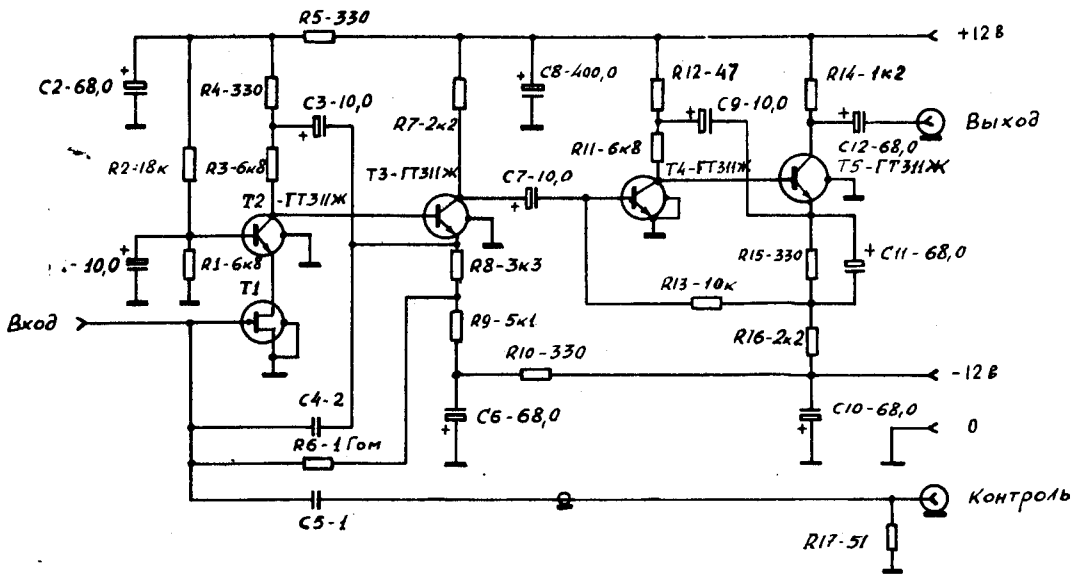


Рис. 3. Принципиальная схема камерного предусилителя.